



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ULB

Zum Einfluß des visko-elastischen Verhaltens eines Belagmaterials auf den Rollvorgang zweier Walzen

Eschenbach, Wolfram; Scheuter, K. G.; Pfeiffer, G.

(1968)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014017>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14017>

Zum Einfluß des visko-elastischen Verhaltens eines Belagmaterials auf den Rollvorgang zweier Walzen

W. Eschenbach, K. R. Scheuter, G. Pfeiffer

Rollvorgänge zwischen zwei Walzen oder zwischen einer Walze und einer Ebene finden sich häufig in Druckmaschinen. Insbesondere stellt der eigentliche Druckvorgang, bei dem die Farbe von der Druckform auf den Bedruckstoff übertragen wird, einen Rollvorgang dar. Die Farbwerke von Flachdruck- und Hochdruckmaschinen bestehen im wesentlichen ebenfalls aus einem System aufeinanderabrollender Walzen. Kennzeichnend für diese Rollvorgänge ist die Tatsache, daß mindestens eine Walze mit einem „weich-elastischen“ Belag beschichtet ist. Bei der Untersuchung derartiger Systeme wurde dem Einfluß des Belagmaterials meistens zuwenig Bedeutung beigemessen. So findet man in der Literatur allgemein nur die Angabe des verwendeten Belagmaterials und dessen Shore-Härte. Das visko-elastische Verhalten ist in den veröffentlichten Versuchsergebnissen als gegebene Größe enthalten und kann nicht getrennt erfaßt werden. Untersucht man z. B. an einer Tiefdruckmaschine den Zusammenhang zwischen geometrischer Anstellung des Presseurs, der Anpreßkraft und der Drehzahl sowie ihre Auswirkung auf das Druckergebnis, so können die hierbei gewonnenen Einblicke nicht ohne weiteres auf Presseure mit anderen Belägen übertragen werden. Auch aus Untersuchungen mit den Belägen A, B und C kann nicht auf das Verhalten eines Belages D geschlossen werden, solange die visko-elastischen Eigenschaften nicht durch eindeutige Kenngrößen erfaßt sind, und ihr Einfluß auf den Rollvorgang nicht aufgezeigt wurde. Diese Überlegungen gelten in entsprechender Weise sowohl für alle Druckvorgänge als auch für alle Rollvorgänge in den Farbwerken der Flach- und Hochdruckmaschinen.

Die vorliegende Untersuchung soll einen Weg aufzeigen, das visko-elastische Verhalten durch Kenngrößen zu erfassen und ihre Bedeutung bzw. ihren Einfluß auf den Rollvorgang zu klären. Hierzu war es notwendig, eine geeignete Versuchsanordnung zur Bestimmung der visko-elastischen Kenngrößen zu entwickeln, und die an Gummiprüben gewonnenen Meßergebnisse mit den Resultaten, die beim Rollen zweier Walzen gefunden wurden, zu vergleichen.

1. Untersuchung der visko-elastischen Kenngrößen von Belagmaterialien

1.1 Das visko-elastische Verhalten eines Stoffes

Zur Charakterisierung des visko-elastischen Verhaltens sei von folgendem Experiment ausgegangen: Ein zylindrischer Probestab mit der Länge l wird um die Länge Δl gedehnt. Hält man diese

Längenänderung konstant und mißt die zur Aufrechterhaltung dieser Dehnung notwendige Kraft, so bemerkt man kurz nach erfolgter Dehnung einen starken Kraftabfall, der sehr schnell kleiner wird und nach einiger Zeit ganz zur Ruhe kommt. Bezieht man die Kraft auf den Querschnitt des Probestabes und drückt die Längenänderung durch die Dehnung aus, so gilt entsprechend dem HOOKE'schen Ansatz

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_a \quad (1)$$

Da bei diesem Experiment die Dehnung ε_a konstant gehalten wurde, und die Kraft bzw. die Spannung mit der Zeit abnahm, so muß, falls Gleichung (1) Gültigkeit behalten soll, der Elastizitätsmodul als zeitabhängige Größe eingeführt werden. Man muß also schreiben

$$\sigma(t) = E(t) \cdot \varepsilon_a \quad (2)$$

woraus für den E-Modul folgt:

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_a} \quad (3)$$

Diese Überlegungen zeigen, daß der Elastizitätsmodul eines visko-elastischen Stoffes, d. h. der Proportionalitätsfaktor, der die Verknüpfung zwischen Spannung und Dehnung bewirkt, keine konstante Größe wie bei metallischen Werkstoffen darstellt. Neben der Zeit erweist sich der E-Modul auch in starkem Maße von der Temperatur abhängig.

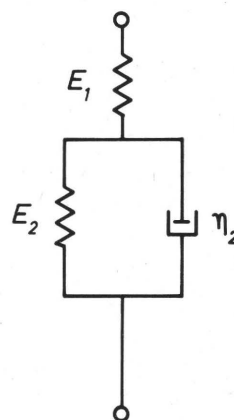


Bild 1: Modell eines visko-elastischen Stoffes

Eine andere Möglichkeit, sich das visko-elastische Verhalten zu verdeutlichen, besteht in der Betrachtung von Modellstoffen. Hierzu stellt man sich ein visko-elastisches Material aus Federn und Dämpfern aufgebaut vor. Dabei charakterisieren die Federn das rein elastische Verhalten, wie es bei metallischen Werkstoffen gegeben ist. Die Dämpfer verkörpern das rein viskose Verhalten, das der Zähigkeit der Flüssigkeiten entspricht. Das Modell in Bild 1 stellt die einfachste Form eines visko-elastischen Körpers dar. Verformt man dieses System, so wird die Zeitabhängigkeit der Kraft allein durch den Dämpfer verursacht.

Da sich bei Temperaturänderungen der E-Modul der Federn nicht ändert, muß auch die Temperaturabhängigkeit dieses Modells allein auf die Änderung des viskosen Widerstandes des Dämpfers zurückgeführt werden. Ein realer Körper ist natürlich nicht so einfach aufgebaut wie dieses Modell. Es können unendlich viele Federn und Dämpfer sowohl parallel als auch hintereinander geschaltet sein.

Prof. em. Dr. Wolfram Eschenbach,
Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Alexanderstraße 22

Prof. Dipl.-Ing. Karl R. Scheuter,
Direktor des Instituts für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Alexanderstraße 22

Dipl.-Ing. Günter Pfeiffer,
wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt, Darmstadt, Alexanderstraße 22

1.2 Versuchseinrichtung zur Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Walzenbelägen

Aus den bisherigen Überlegungen ergibt sich, daß zur Kennzeichnung der visko-elastischen Eigenschaften eines Belagmaterials der Elastizitätsmodul in seiner Zeit- und Temperaturabhängigkeit erfaßt werden muß. Da die Beanspruchungszeit eines Gummielementes, das beim Passieren der Berührungszone zwischen zwei Walzen einer Druckverformung unterworfen wird, sehr klein ist, wurde ein Versuchsaggregat entwickelt, mit dem ebenfalls sehr schnelle Druckverformungen realisiert werden können. Mittels dieses Prüfgerätes werden zylindrische Gummiprüben von 10 mm Durchmesser und von 10 mm Höhe einer sich zeitlich sinusförmig ändernden Druckwechselverformung unterworfen. Bild 2 zeigt den Aufbau dieses Meßsystems. Ein Schwingungs-

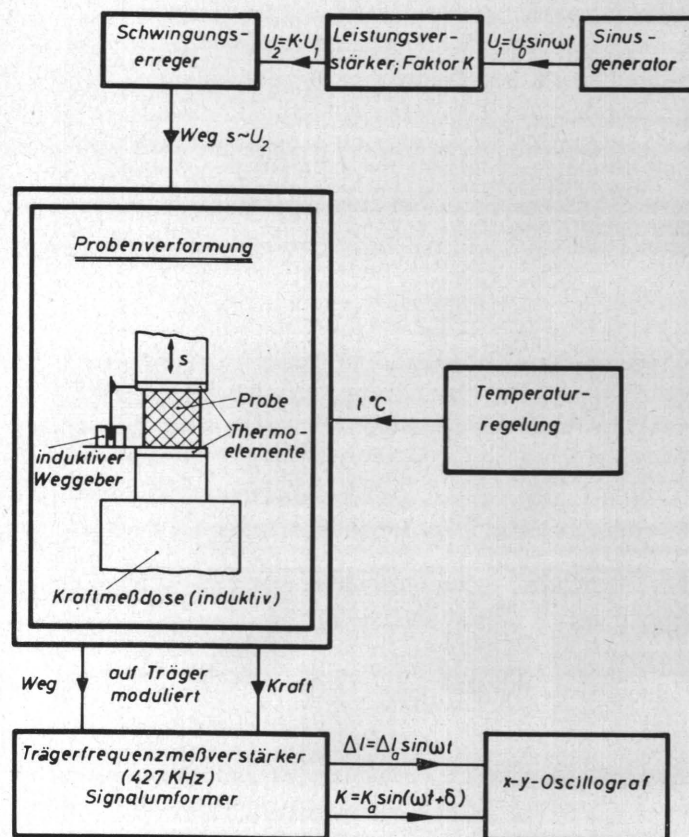


Bild 2: Schematische Darstellung der Meßanlage zur Bestimmung der visko-elastischen Kennwerte

erregter wird über einen Leistungsverstärker von einem Sinusgenerator mit frei wählbaren Frequenzen zwischen 0 und 300 Hz angesteuert. Die Verformung der Gummiprobe durch den Stößel des Schwingungserregers sowie die zur Verformung benötigte Kraft werden mittels eines entsprechenden Meßsystems erfaßt und mit Hilfe eines Oszillographen in x-y-Darstellung, d. h. in Kraft-Weg-Darstellung, sichtbar gemacht. Aus der auf dem Bildschirm des Oszillographen entstehenden Dämpfungsellipse können alle Werte zur Charakterisierung des visko-elastischen Verhaltens ermittelt bzw. berechnet werden.

Die Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Gummi ist in DIN 53 513 genormt. Die Zusammenhänge zwischen dem komplexen E-Modul, dem Verlustmodul und dem Verlustfaktor sind dort ausführlich beschrieben. Im folgenden wird nur der Absolutbetrag des komplexen Elastizitätsmoduls betrachtet, der durch die Beziehung

$$E^* = \frac{\sigma_a}{\epsilon_a} = \frac{\text{Spannungsamplitude}}{\text{Dehnungsamplitude}}$$

für eine sinusförmige Wechselbeanspruchung definiert ist.

1.3 Versuchsergebnisse

Grundsätzlich ist es mit der beschriebenen Anlage möglich, fast alle in Druckmaschinen eingesetzten Belagmaterialien zu untersuchen. Für mehrere Presseur- und Farbwalzenbeläge wurden die visko-elastischen Kennwerte in Abhängigkeit von der Temperatur und der Verformungsfrequenz bestimmt. Bild 3 gibt den komplexen Elastizitätsmodul als Funktion der Verformungsfrequenz für Farbwalzenbeläge bei Raumtemperatur wieder. Mit Zunahme der Frequenz wird der E-Modul größer, d. h. die Kraft, die zum Erzielen einer bestimmten Verformung nötig ist, steigt mit kleiner werdender Verformungszeit an. Der Kurvenverlauf der drei Gummimaterialien zeichnet sich sehr ähnlich ab; der E-Modulanstieg ist bei Artex dagegen viel größer. In der hier verwendeten doppel-logarithmischen Darstellung zeigt die Frequenzabhängigkeit des E-Moduls annähernd einen geraden Verlauf; am besten gilt dies für das Material 154 N. Da eine Gerade auf doppel-logarithmischem Papier mit der Steigung x durch eine Potenzfunktion erfaßt werden kann, ist es möglich, für das Belagmaterial 154 N die Abhängigkeit des komplexen Elastizitätsmoduls von der Verformungsfrequenz durch folgende Gleichung wiederzugeben:

$$E^* = E_1^* \cdot \left(\frac{f}{f_1} \right)^x \quad (4)$$

Der Exponent x wird durch das Steigungsmaß der Geraden für das Belagmaterial 154 N im doppel-logarithmischen System bestimmt. E_1^* entspricht dem komplexen Elastizitätsmodul, der bei der Frequenz f_1 gemessen wurde.

Zeigt die Abhängigkeit des E-Moduls von der Verformungsfrequenz einen leicht gekrümmten Kurvenverlauf, so kann für jeweils einen begrenzten Frequenzbereich mit hinreichender Genauigkeit die gekrümmte Linie durch eine Gerade ersetzt werden. Für diese Ersatzgeraden ist wiederum die Aufstellung von Potenzfunktionen möglich, die jedoch für das gleiche Belagmaterial unterschiedliche Exponenten aufweisen.

Nachdem in Bild 3 der Verlauf des komplexen Elastizitätsmoduls in Abhängigkeit von der Verformungsfrequenz festgelegt wurde, soll nun versucht werden, den Zusammenhang zwischen der Frequenzabhängigkeit des E-Moduls und den Verhältnissen beim Rollvorgang zweier Walzen zu erklären.

2. Untersuchung des Rollvorgangs zweier Walzen

2.1 Das Versuchsaggregat

Analysiert man die Rollvorgänge in Druckmaschinen, so zeigt sich, daß sie im wesentlichen durch die Geometrie der Walzenkombination, durch die Belagstärke und durch die visko-elastischen Eigenschaften des Belagmaterials bestimmt sind. Farbe und Papier beeinflussen hauptsächlich die Reibungsverhältnisse in der Berührungszone und können somit als Störgrößen eines elementaren Rollvorganges aufgefaßt werden, der durch das Rollen einer beschichteten Walze auf einer glatten Stahlwalze gegeben ist. Um den Einfluß der visko-elastischen Eigenschaften des Belagmaterials auf derartige elementare Rollvorgänge zu erfassen, wurde ein Versuchsaggregat entwickelt, an dem alle den Rollvorgang charakterisierenden Größen meßtechnisch erfaßt werden

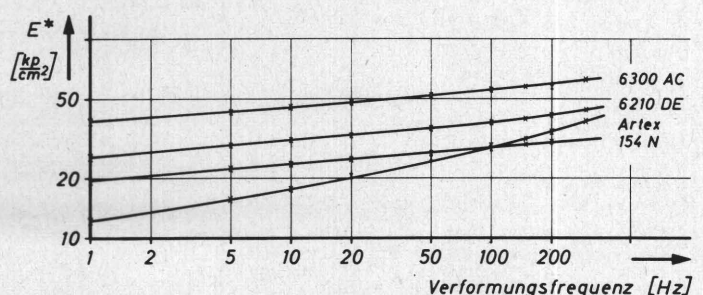


Bild 3: Komplexer Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der Verformungsfrequenz für vier Belagmaterialien

können. Die Geometrie der Walzenkombinationen wurde so ausgewählt, daß sie mit den Verhältnissen in den Farbwerken vieler Druckmaschinen übereinstimmt. Dieses Versuchsaggregat ermöglicht es, die Anpreßkraft zwischen den Walzen, die Tangentialkraft, die Druckzonenbreite und die Druckverteilung sowie den Schlupf in Abhängigkeit von der Drehzahl und der geometrischen Beistellung der Walzen zu ermitteln.

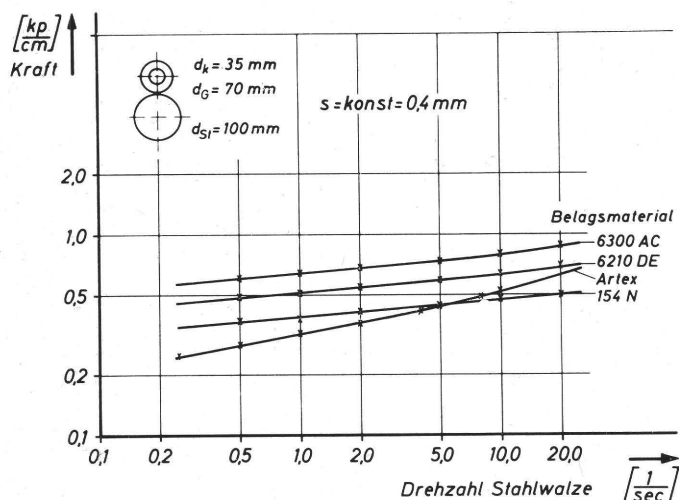


Bild 4: Kräfte beim Rollen zweier Walzen für vier verschiedene Belagmaterialien

2.2 Der Einfluß des visko-elastischen Verhaltens der Belagmaterialien auf die Kräfte beim Rollen zweier Walzen

Für vier Walzenkombinationen gleicher Geometrie und denselben Belagmaterialien wie in Bild 3 wurden die Kräfte zwischen den Walzen in Abhängigkeit von der Drehzahl bestimmt. Bei diesen Versuchen trieb die Stahlwalze die Gummwalze an; die Anstellung der beiden Walzen betrug 0,4 mm. In Bild 4 ist im doppel-logarithmischen Maßstab die Kraft als Funktion der Drehzahl dargestellt. Mit steigender Drehzahl werden bei allen Belagmaterialien die Kräfte zwischen den Walzen größer. Der Kraftanstieg tritt bei dem Belagmaterial Artex am ausgeprägtesten auf; die drei Gummimaterialien zeigen untereinander ein ähnliches Verhalten. Vergleicht man Bild 3 mit Bild 4, so sticht die Übereinstimmung im Kurvenverlauf ins Auge. Der Anstieg des komplexen Elastizitätsmoduls mit der Frequenz, wie er anhand von Gummiprüben gefunden wurde, verläuft in analoger Art wie der Kraftanstieg beim Rollen zweier Walzen mit der Drehzahl. Der Kraftanstieg, der beim Rollvorgang beobachtet wird, muß also auf eine größer werdende Verformungsfrequenz zurückgeführt werden.

Die Übereinstimmung zwischen Bild 3 und 4 ist für das Belagmaterial 154 N besonders eindeutig. Sowohl die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Verformungsfrequenz als auch die Ab-

hängigkeit der Anpreßkraft von der Drehzahl ergeben in doppel-logarithmischer Darstellung einen geraden Kurvenverlauf. Beide Geraden weisen sogar dasselbe Steigungsmaß x auf. Man kann also für dieses Belagmaterial entsprechend Gleichung (4) auch den Zusammenhang zwischen Anpreßkraft und Drehzahl durch eine Potenzfunktion erfassen.

$$P = P_1 \cdot \left(\frac{n}{n_1} \right)^x \quad (5)$$

Diese einfache Beziehung zwischen der Kraft und der Drehzahl beim Rollen zweier Walzen gilt für alle Belagmaterialien, bei denen die Abhängigkeit des E-Moduls von der Verformungsfrequenz durch eine Potenzfunktion erfaßt werden kann. Die Exponenten in Gleichung (4) und (5) werden bei einem Belagmaterial jeweils übereinstimmen, jedoch wird ihr Zahlenwert für verschiedene Beläge im allgemeinen unterschiedlich sein.

2.3 Anpreßkraft und geometrische Beistellung der Walzen

Für experimentelle Untersuchungen und deren Auswertung hat sich das Belagmaterial 154 N als besonders geeignet erwiesen. Deshalb soll der Einfluß der Anstellung auf den Rollvorgang an einer Walzenkombination mit diesem Belagmaterial gezeigt werden.

In Bild 5 wurde die Kraft, die während des Rollvorgangs zwischen den beiden Walzen wirkt, für mehrere Anstellungen in Abhängigkeit von der Drehzahl aufgetragen. In der auch hier verwendeten doppel-logarithmischen Darstellung ergeben die Kraft-Drehzahl-Funktionen Geraden, die parallel verlaufen und somit dasselbe Steigungsmaß aufweisen. Die Kurve für die Anstellung $s = 0,4$ mm ist identisch mit der Kurve für dasselbe Belagmaterial 154 N in Bild 4. Deshalb muß allen Geraden in Bild 5 eben-

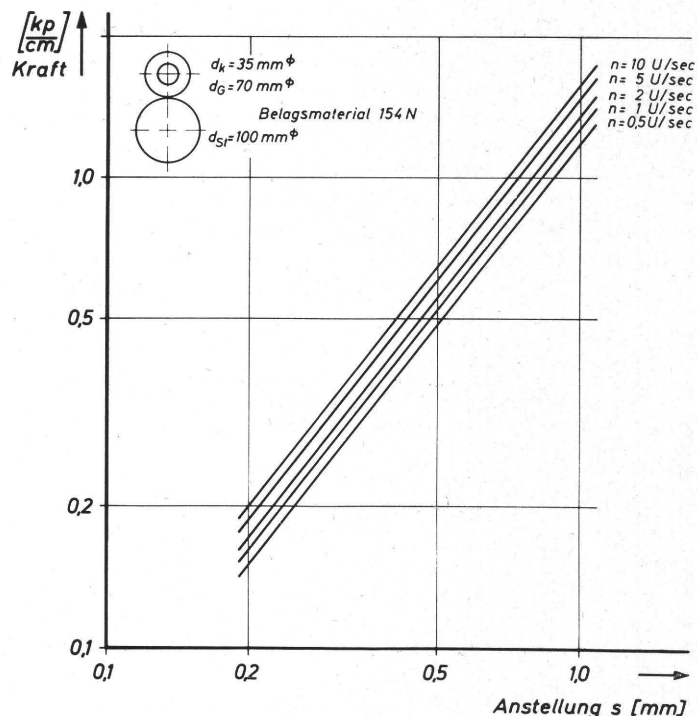


Bild 6: Anstellkraft als Funktion der Anstellung der Walzen für verschiedene Drehzahlen

falls das Steigungsmaß x zugeordnet werden. Die Abhängigkeit der Kraft von der Drehzahl bei verschiedenen Anstellungen wird demnach durch folgende Potenzfunktionen beschrieben:

$$P(n, s = \text{konst}) = P(n=1[\text{sec}^{-1}]; s = \text{konst}) \cdot \left(\frac{n}{n=1[\text{sec}^{-1}]} \right)^x \quad (6)$$

Diese Beziehung zeigt, daß — unabhängig von der geometrischen Anstellung der beiden Walzen — die durch den E-Modul festgelegte Potenz-Abhängigkeit auch das Kraft-Drehzahl-Ver-

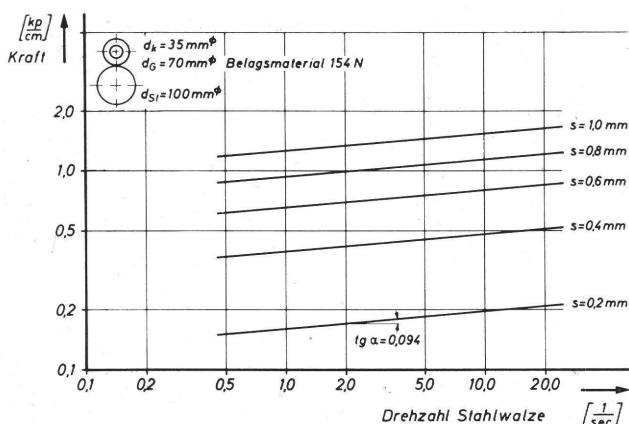


Bild 5: Kräfte beim Rollvorgang für verschiedene Anstellungen, Belagmaterial 154 N

ten charakterisiert. Dieselben Meßwerte, die in Diagramm 5 verwendet wurden, liegen auch in Bild 6 zugrunde. Dort ist der Kraftanstieg in Abhängigkeit von der geometrischen Anstellung der beiden Walzen für verschiedene Drehzahlen aufgezeichnet. In doppel-logarithmischer Darstellung entstehen ebenfalls Geraden, die parallel verlaufen und demnach durch folgende Potenzfunktion erfaßt werden können:

$$P(s, n = \text{konst}) = P(s = 1 [\text{mm}]; n = \text{konst}) \cdot \left(\frac{s}{s = 1 [\text{mm}]} \right)^y \quad (7)$$

Der Exponent y entspricht dem Steigungsmaß der Geraden in der doppel-logarithmischen Darstellung.

Da die Gleichungen (6) und (7) denselben Rollvorgang beschreiben, kann man beide in folgender Form zusammenfassen:

$$P(s, n) = P(s = 1, 0 [\text{mm}]; n = 1 [\text{sec}, -1]) \cdot \left(\frac{s}{s = 1, 0 [\text{mm}]} \right)^y \cdot \left(\frac{n}{n = 1 [\text{sec}^{-1}]} \right)^x \quad (8)$$

Diese Beziehung beschreibt vollständig den Zusammenhang zwischen Anpreßkraft, Anstellung der Walzen und Drehzahl für die untersuchte Walzenkombination mit dem Belagmaterial 154 N bei Raumtemperatur.

Versucht man über die Gültigkeit des Exponenten y eine Aussage zu machen, so muß von folgender Überlegung ausgegangen werden: die Zeit, in der ein Volumenelement des Belagmaterials beim Durchlaufen der Berührungzone bei konstanter Drehzahl verformt wird, ist um so größer, je breiter mit zunehmender Anstellung die Druckzone wird. Mehr Zeit für eine Verformung bedeutet jedoch eine kleinere Verformungsfrequenz. Für eine Walzenkombination folgt hieraus, daß mit Zunahme der Anstellung die wirksame Beanspruchungsfrequenz kleiner, die Amplitude der Verformung jedoch größer wird.

Der Kraftanstieg, der sich mit zunehmender Anstellung bei konstanter Drehzahl ergibt, wird durch größer werdende Verformung des Walzenbelags hervorgerufen. Gleichzeitig wird jedoch die wirksame Verformungsfrequenz und damit der E-Modul kleiner. Bei gleicher geometrischer Verformung bedeutet ein kleinerer E-Modul eine geringere Kraft. Der Kraftanstieg als Folge der Anstellung kommt deshalb nicht voll zur Auswirkung. Diese beiden Einflüsse werden gemeinsam durch Gleichung (7) in Abhängigkeit von der Anstellung erfaßt. Erst wenn über die bei einer bestimmten Anstellung wirksame Verformungsfrequenz eindeutige Aussagen gemacht werden können, ist eine umfassendere Analyse

möglich. Es kann jedoch mit Sicherheit gesagt werden, daß der Zahlenwert des Exponenten y für alle Belagmaterialien eine verschiedene Größe aufweist.

Zusammenfassung

Der Rollvorgang zweier Walzen wird bei konstanten geometrischen Bedingungen im wesentlichen durch das visko-elastische Verhalten des Belagmaterials bestimmt. Zur Kennzeichnung eines Walzenbelages wurde der von der Beanspruchungszeit und der Temperatur abhängige komplexe Elastizitätsmodul eingeführt. Eine Versuchseinrichtung wurde beschrieben, bei der an Gummi-proben die Abhängigkeit des E-Moduls von der Verformungsfrequenz zwischen 1 Hz und 300 Hz für vier Belagmaterialien erfaßt wurde. An einem Zweiwalzenstuhl sind für dieselben vier Belagmaterialien die Kräfte zwischen den Walzen bei konstanter geometrischer Anstellung ermittelt worden. Der Anstieg der Anpreßkräfte mit zunehmender Drehzahl verläuft analog dem Anstieg des komplexen Elastizitätsmoduls mit größer werdender Verformungsfrequenz. Für ein Belagmaterial, bei dem das Zeitverhalten des E-Moduls durch eine Potenzfunktion wiedergegeben werden kann, besteht die Möglichkeit, auch das Kraft-Drehzahl-Verhalten durch eine Potenzfunktion zu erfassen. Die Exponenten beider Gleichungen stimmen überein. Für diesen Sonderfall kann innerhalb eines bestimmten Anstellbereiches der Kraftanstieg mit Zunahme der geometrischen Anstellung der beiden Walzen ebenfalls durch eine Potenzfunktion erfaßt werden.

Literaturhinweise

- Ecker, R.: Dynamische Dämpfung und E-Modul im kautschuk-elastischen Bereich, Kautschuk und Gummi, 6 (1953) Nr. 7, S. 127–139 WT.
- Ecker, R.: Temperaturabhängigkeit statischer und dynamischer Verformungseigenschaften von Kautschuk-Vulkanisaten und anderen Hochpolymeren, Kautschuk und Gummi, 9 (1956), Nr. 1, S. 14–17 WT.
- Eschenbach, W. und Pfeiffer, G.: Werkstoffeigenschaften von Presseurbelägen, Zwischenbericht zur Sitzung des Technischen Ausschusses der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e. V., S. 17–28, Darmstadt, 1965.
- Ferry, J.: Viscoelastic Properties of Polymers, John Wiley & Sons, New York – London, 1961.
- Kainradl, P. und Händler, F.: Messung der dynamischen Eigenschaften von Vulkanisaten, Kautschuk und Gummi, 11 (1958), Nr. 7, S. 193–199 WT, Nr. 8, S. 222–229 WT.
- Nitsche, R. und Wolf, K.: Kunststoffe, Band 1 und 2, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1962.
- Oberst, H.: Elastische und viskose Eigenschaften von Werkstoffen, Grundlagen und Begriffe, Beuth-Vertrieb GmbH., Berlin-Köln-Frankfurt, 1963.
- Stuart, H. A.: Die Physik der Hochpolymeren, Band 4, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1956.

Finanzieller Träger des vorstehenden Forschungsthemas ist die Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e. V. mit Zuwendungen des Bundeswirtschaftsministeriums über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF).